



KKUI
Katedra kybernetiky
a umelej inteligencie

Súčasnosc' a budúcnosc' **Kybernetiky**

Kybernetika – veda súčasnosti a
budúcnosti

KKUI FEI-TUKE

<http://web.tuke.sk/kkui/>



Študijné odbory a programy CAK

1. Stupeň - Bakalárske štúdium

- Kybernetika – Inteligentné systémy

2. Stupeň - Inžinierske štúdium

- Kybernetika – Inteligentné systémy

3. Stupeň - Doktorandské štúdium

- Kybernetika – Inteligentné systémy

Profil CAK

- modelovanie a simulácia fyzikálnych a ekonomických systémov
- inteligentné a hybridné metódy riadenia kybernetických systémov
- manažérske informačné systémy – MIS
- multikritériálne rozhodovanie, plánovanie, riadenie výroby – MES/MRP
- supervision control, data acquisition, human machine interface – SCADA/HMI
- robotické systémy
- multiagentové riadiace systémy
- počítačové videnie
- Diagnostika zložitých systémov

CAK – HW a SW prostriedky

- priemyselna automatizacia – smart sensory, pohony, PLC automaty, jednočipové mikropočítače,
- riadenie technologických procesov
- distribuovaný (decentralizovaný) systém riadenia

- databázové systémy – Oracle software
- objektové programovanie – C/C++/C#/Matlab a iné
- riadenie a vizualizácia – Rockwell, Wonderware,

- inteligentné riadiace siete – DeviceNet, ControlNet
- cloudové systémy a Internet vecí (IoT)



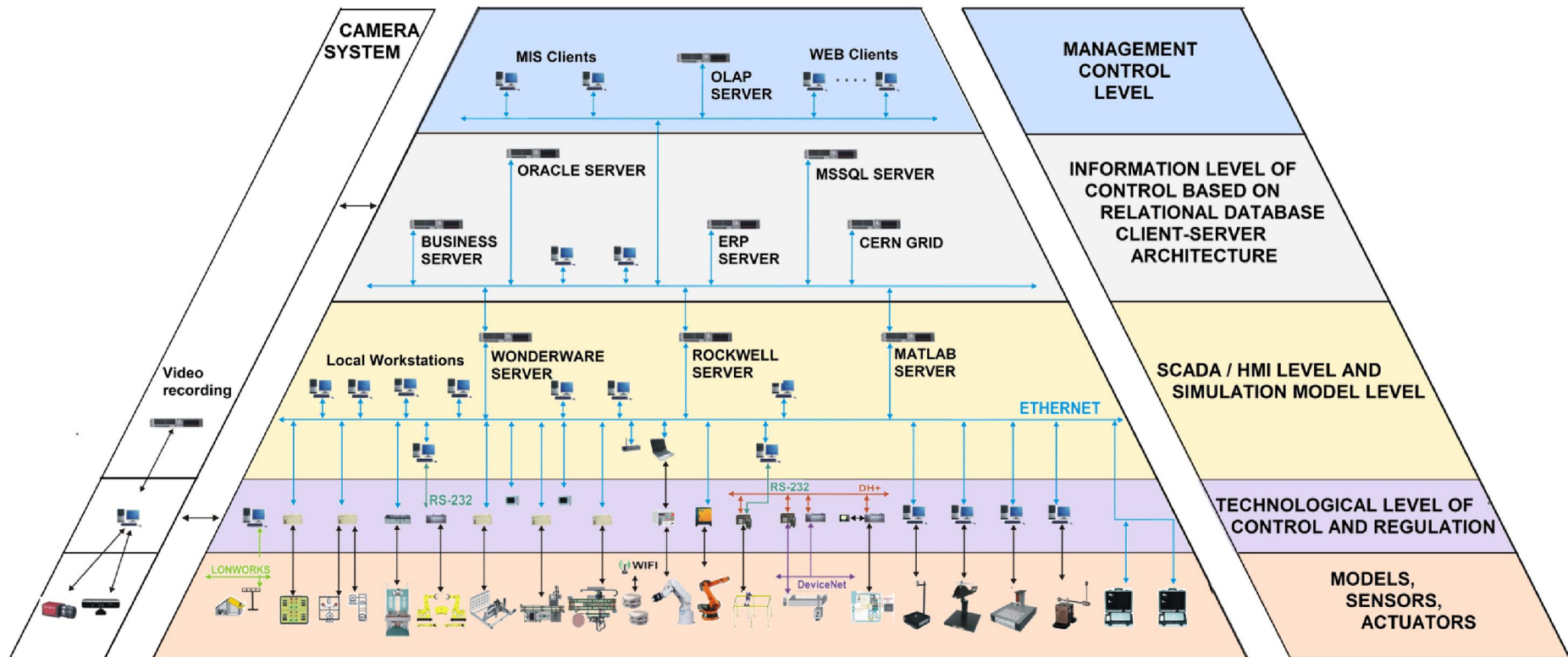
Výskumné Centrum moderných metód riadenia a priemyselnej informatiky

Deň otvorených dverí TUKE 2015

Profil VCMMR a PI

- **výskumné centrum je zamerané na výuku a výskum v oblasti moderných metód riadenia a priemyselnej automatizácie**
- VC je po programovej aj technickej stránke vybavené najmodernejšími vývojovými, simulačnými a realizačnými prostriedkami v oblasti regulácie, riadenia, informačných, manažérskych a komunikačných systémov
- získané výsledky aplikujeme vo výuke predmetov bakalárskeho a inžinierskeho štúdia, v základnom výskume FEI a riešení praktických úloh vo výrobných podnikoch

Distribučovaný systém riadenia na KKUI



Laboratóriá VCMMR a PI

VCMMR a PI

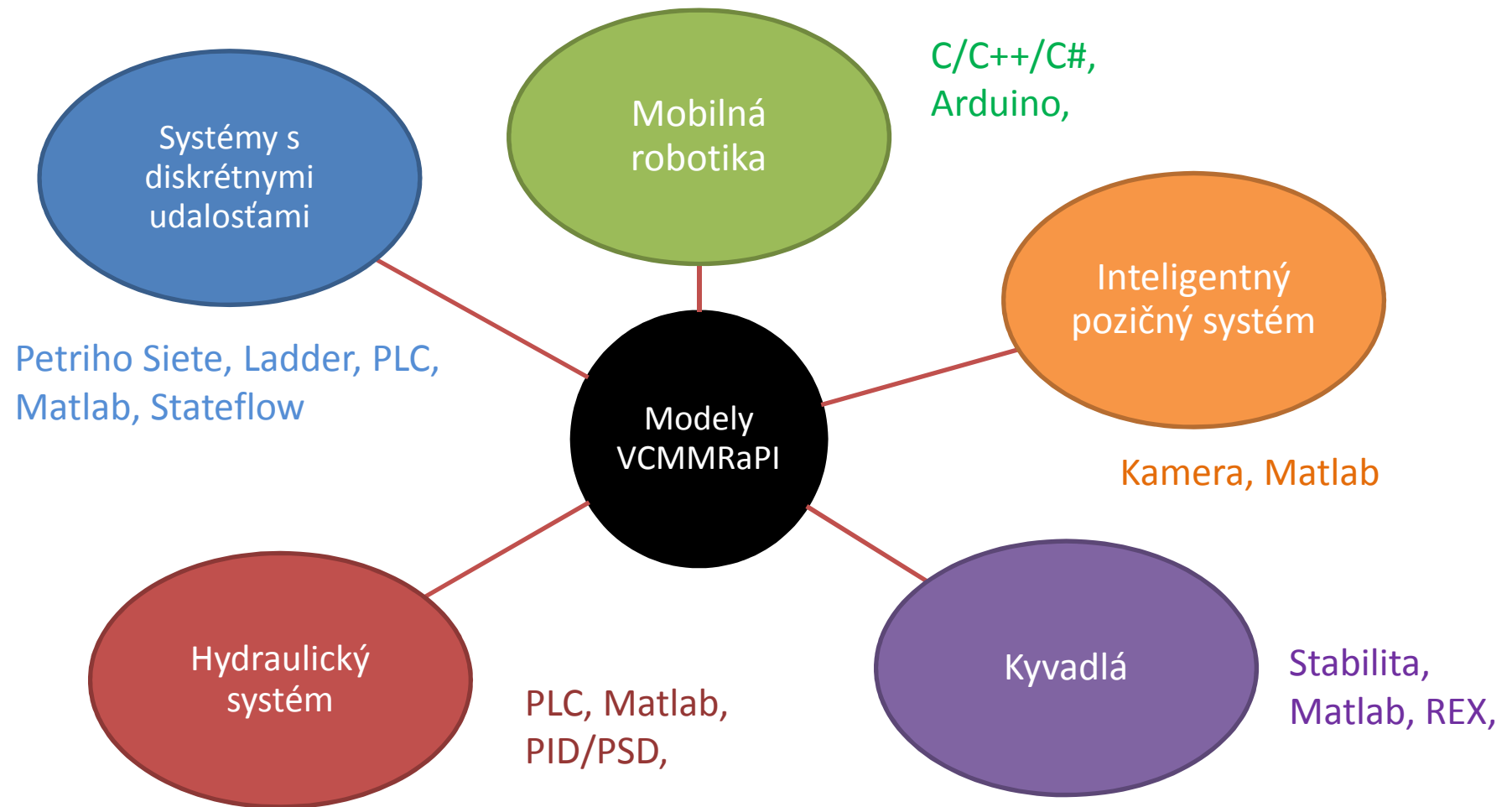
Laboratórium riadenia technologických procesov (V144)

Laboratórium konštrukcie počítačových riadiacich systémov (V101b)

Laboratórium výrobných liniek a rozpoznávania obrazov (V147)

Laboratórium mechatronických systémov (V142)





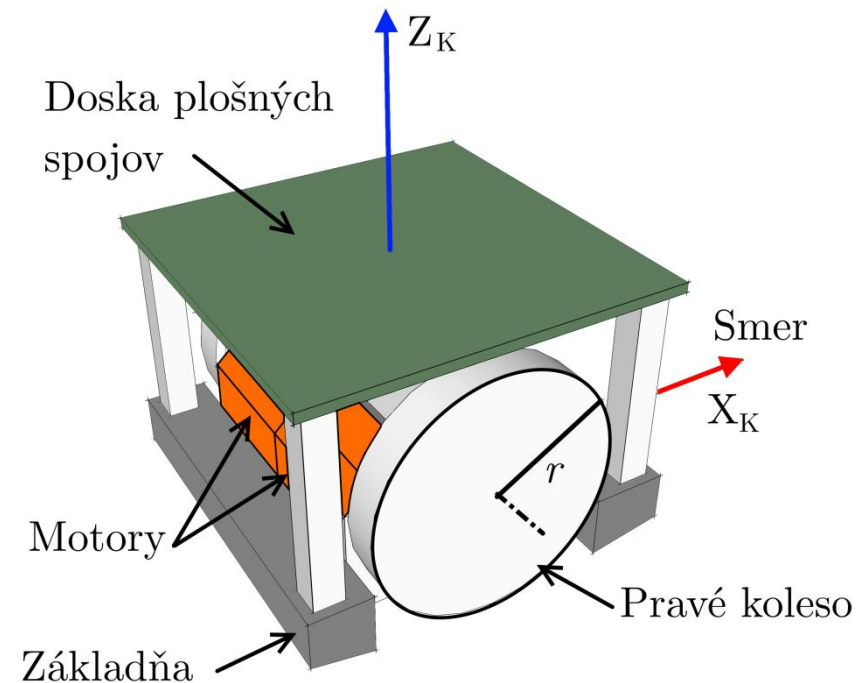
Mobilný robot – simulačný prístup

Hlavné riešené úlohy:

Popis a modelovanie Mobilných robotov

Simulácia

Návrh riadenia mobilných robotov



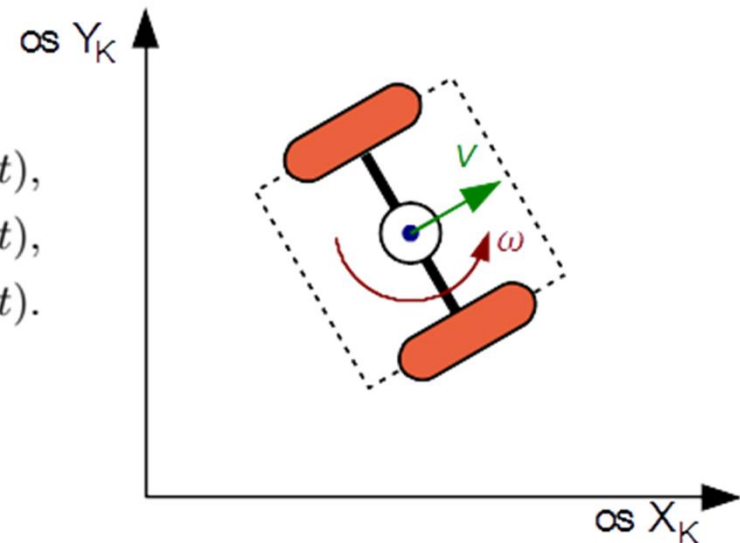
Mobilný robot – Modelovanie

- Modelovanie mobilných robotov je založené na matematicko-fyzikálnych vzťahoch
- Získané matematické modely reflektujú kinematiku a dynamiku pohybu uvažovaných mobilných robotov

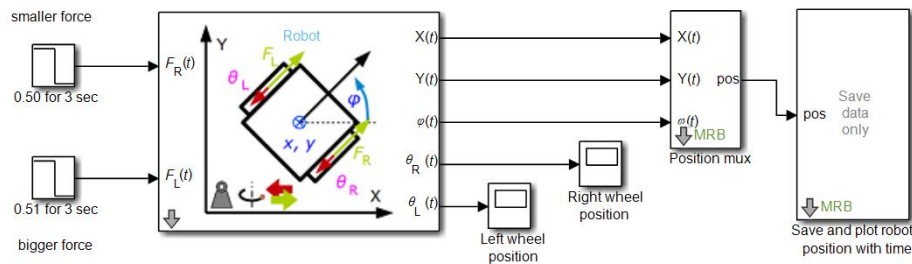
$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= v(t) \cos \varphi(t), \\ \dot{y}(t) &= v(t) \sin \varphi(t), \\ \dot{\varphi}(t) &= \omega(t).\end{aligned}$$

$$\dot{v} = \frac{F_R}{m} + \frac{F_L}{m}$$

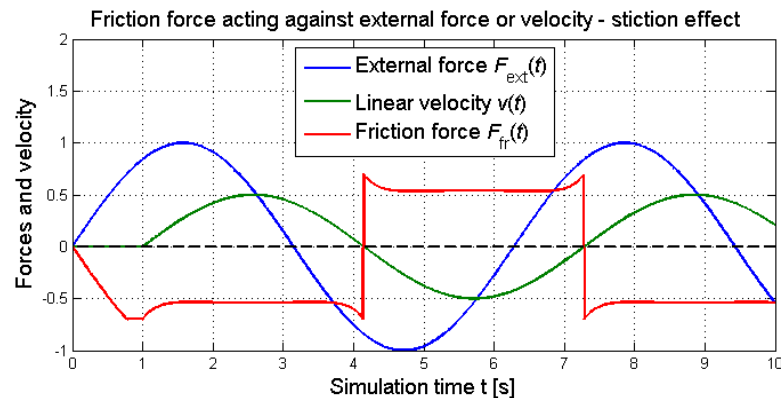
$$\dot{\omega} = F_R \frac{b}{J} - F_L \frac{b}{J}$$



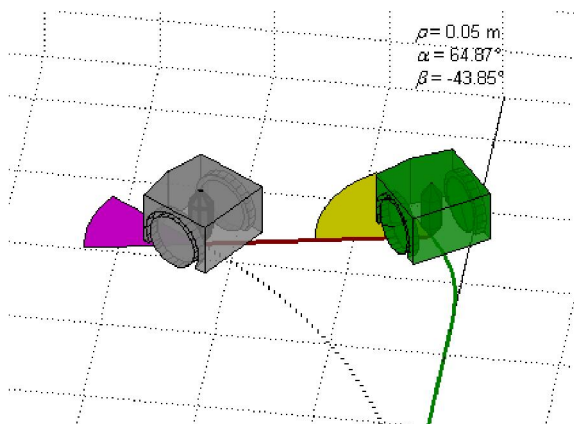
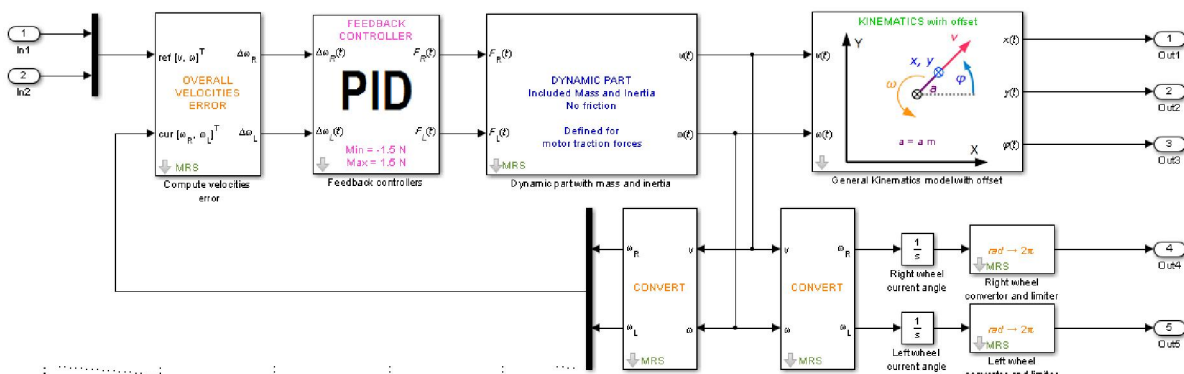
Mobilný robot – Simulácia



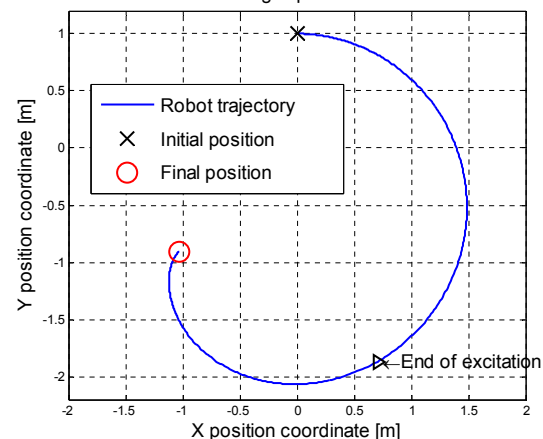
- Na základe matematického modelu je možné vytvoriť simulačný model v požadovanom programovacom jazyku



Mobilný robot – Algoritmy riadenia



Robot with friction moving in plane excited for 3 seconds.



- Návrh algoritmov riadenia pre mobilné roboty a ich simulačné overenie
 - Riadenie do bodu
 - Riadenie do pozície
 - Riadenie po požadovanej trajektórii

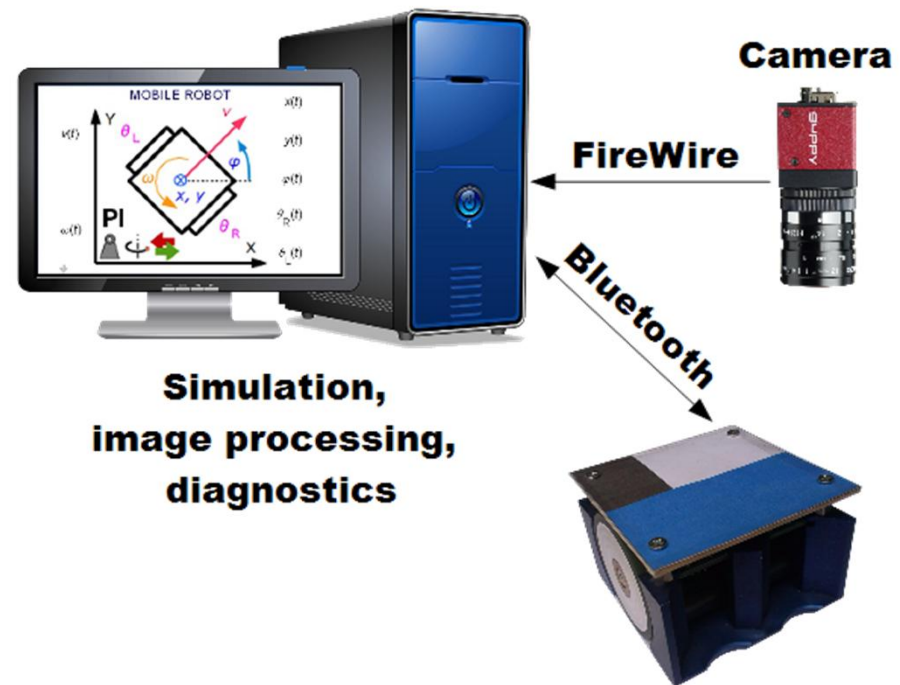
Pracovisko mobilnej robotiky

Hlavné riešené úlohy:

Lokalizácia robotov na základe obrazu z kamery

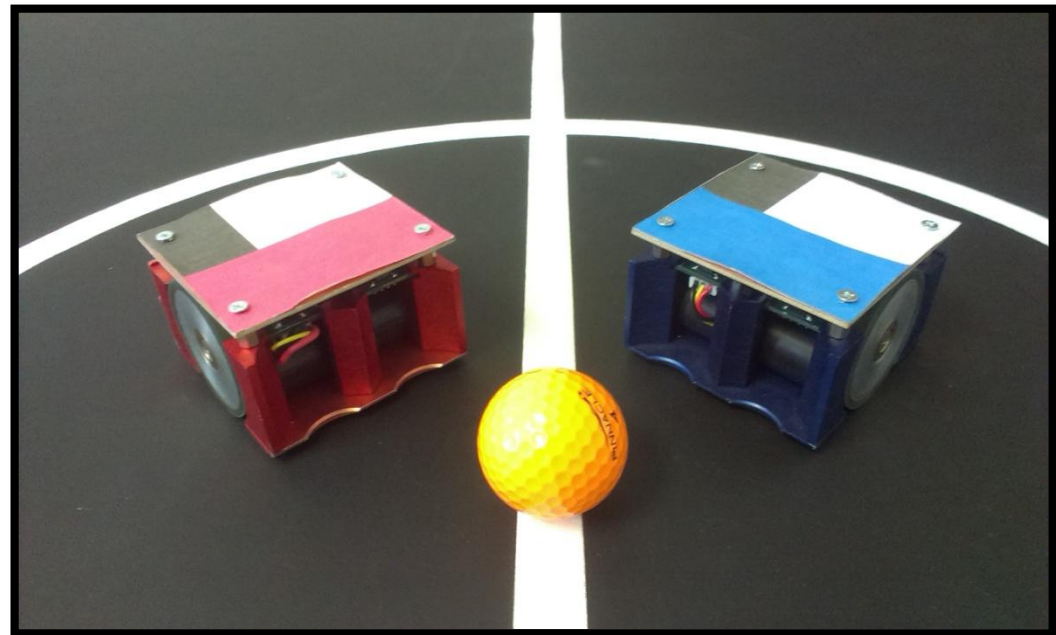
Riadenie pohybu mobilných robotov

Realizácia futbalových zápasov autonómnych mobilných robotov



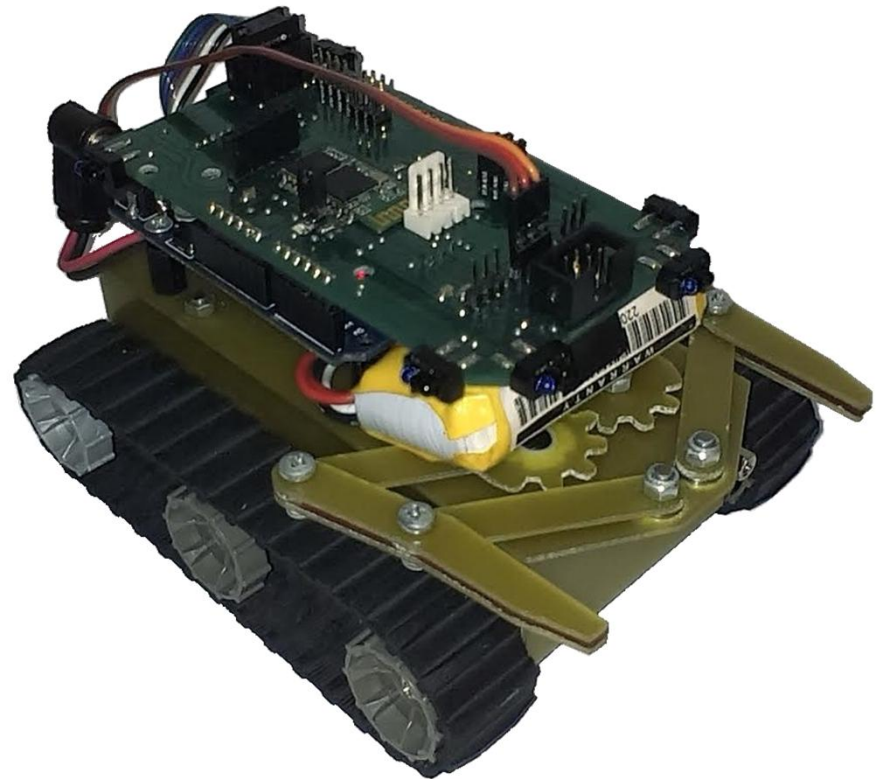
Laboratórne modely mobilných robotických futbalistov

- Mobilný robot disponuje:
 - 32-bit Jednočipovým mikropočítačom
 - Presnými motormi Faulhaber
 - Bluetooth komunikačným modulom
- Možné riešené úlohy:
 - Diagnostika snímačov a akčných členov
 - Robotická futbal kategórie MiroSot
 - Robotická súťaž „Myš v bludisku“



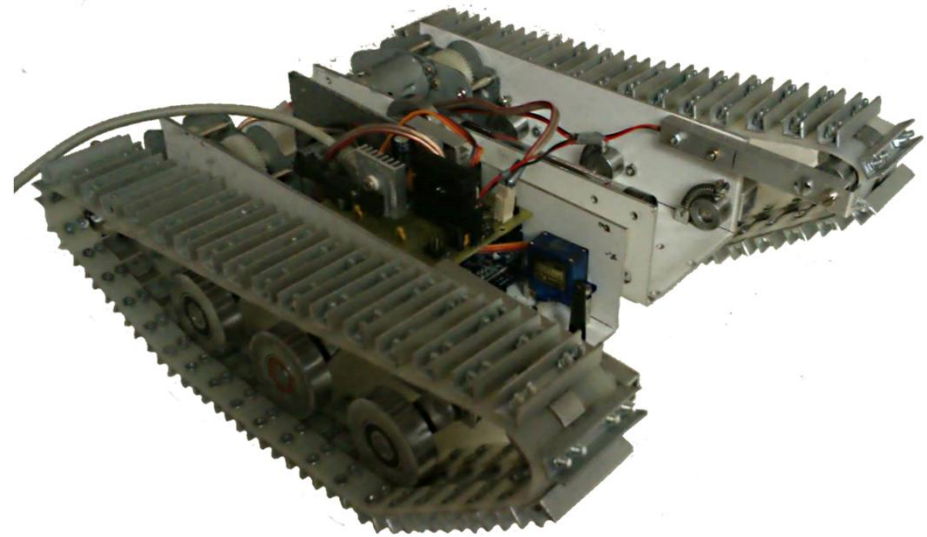
Mobilný robot TrackBot

- Mobilný robot disponuje:
 - Riadiacou elektronikou Arduino
 - Dvojitou prevodovkou Tamiya
 - Bluetooth komunikačným modulom
 - Mechanickým gripperom
- Možné riešené úlohy:
 - Diagnostika snímačov a akčných členov
 - Robotická súťaž „V sklade kečupu“
 - Výukovania programovania Jednočipových mikropočítačov



Mobilný Prieskumný Robot

- Ovládanie prostredníctvom ethernetového rozhrania
- Robot disponuje natáčaciu IP kamerou
- Mobilný robot pre archeologický prieskum a prieskum jaskýň.



Inteligentný pozičný systém

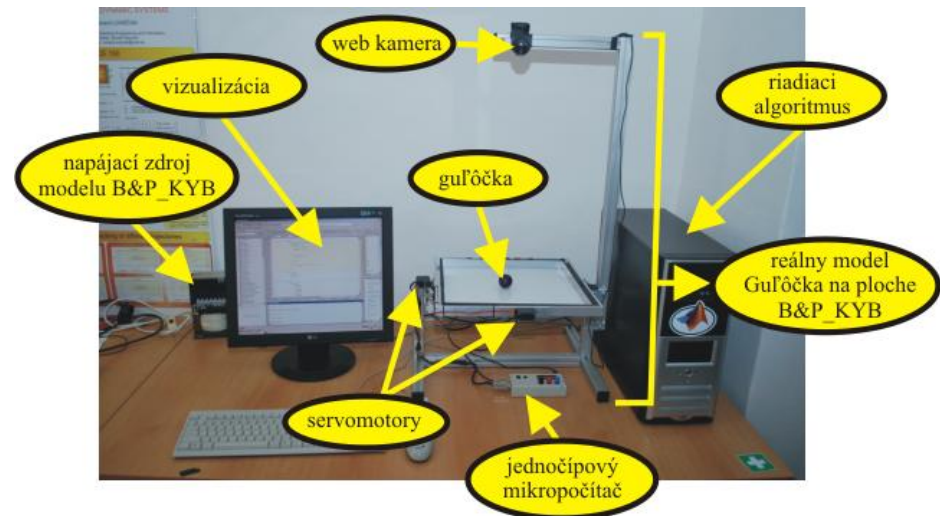
Hlavné riešené úlohy:

Modelovanie mechatronického systému

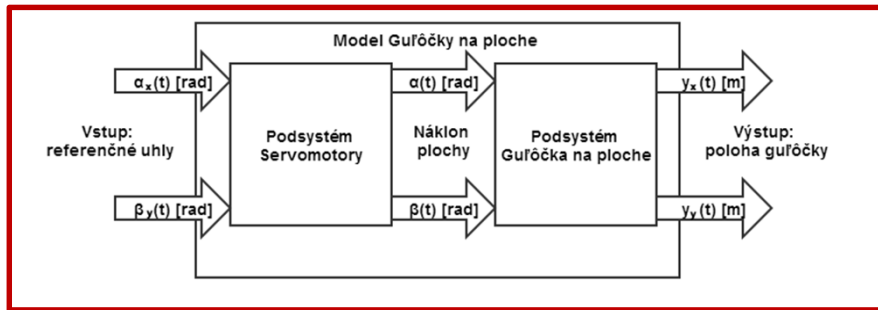
Simulačný model

Návrh algoritmov riadenia

Spracovanie obrazu



Inteligentný pozičný systém - modelovanie

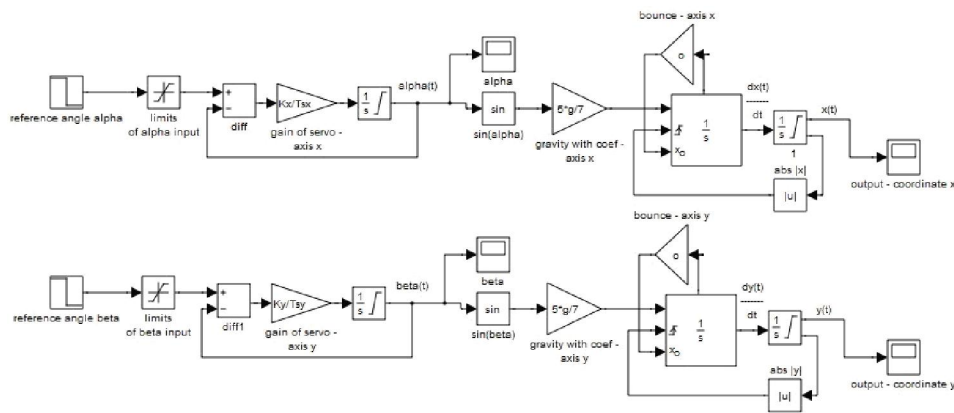


$$F_{sx}(s) = \frac{K_x}{T_{sx}s + 1} \quad \left(\frac{J}{r^2} + m \right) \cdot \ddot{y}_x(t) - m \cdot g \cdot \sin \alpha(t) = 0$$

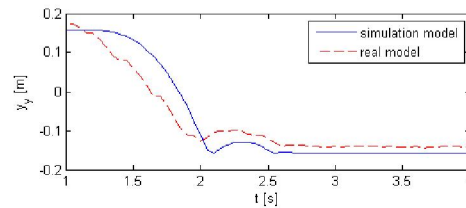
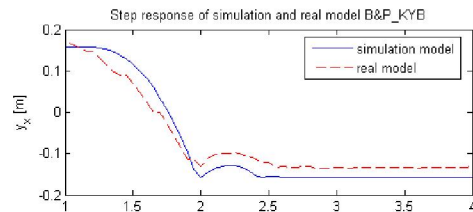
$$F_{sy}(s) = \frac{K_y}{T_{sy}s + 1} \quad \left(\frac{J}{r^2} + m \right) \cdot \ddot{y}_y(t) - m \cdot g \cdot \sin \beta(t) = 0$$

- Model získaný pomocou matematicko – fyzikálnych vzťahov
- Model získaný pomocou numerických rekurzívnych metód
- Získané modely sú abstrakciou reálneho modelu – slúžia pre analýzu modelu

Inteligentný pozičný systém – simulačný model



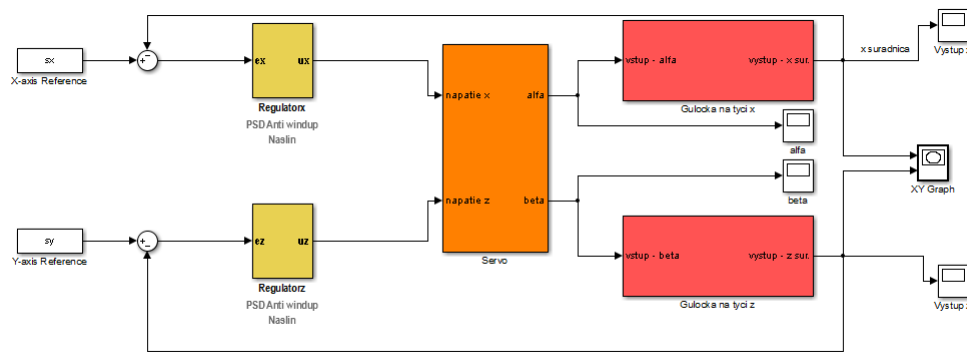
- Model implementovaný v simulačnom nástroji Matlab/Simulink
- Validácia simulačného modelu s reálnym modelom



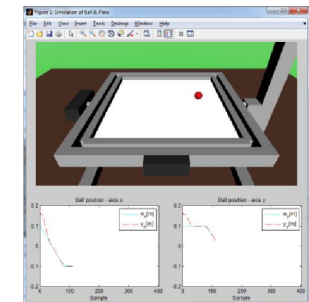
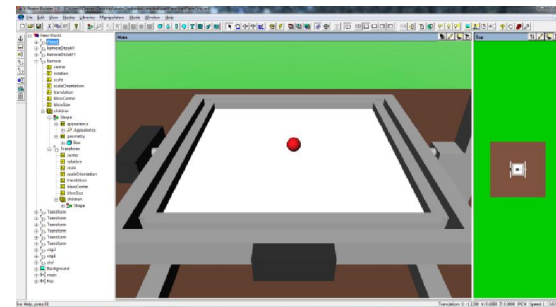
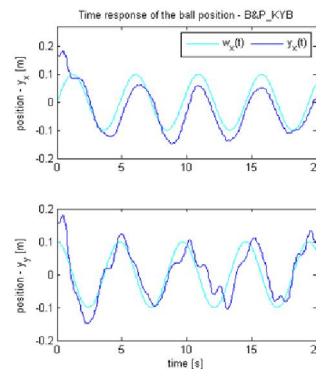
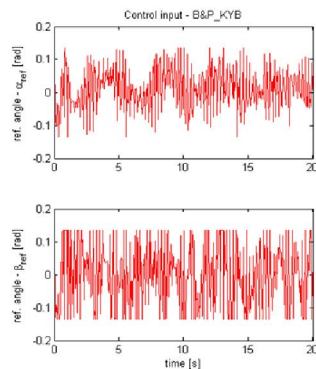
Tvorba virtuálneho
simulačného modelu



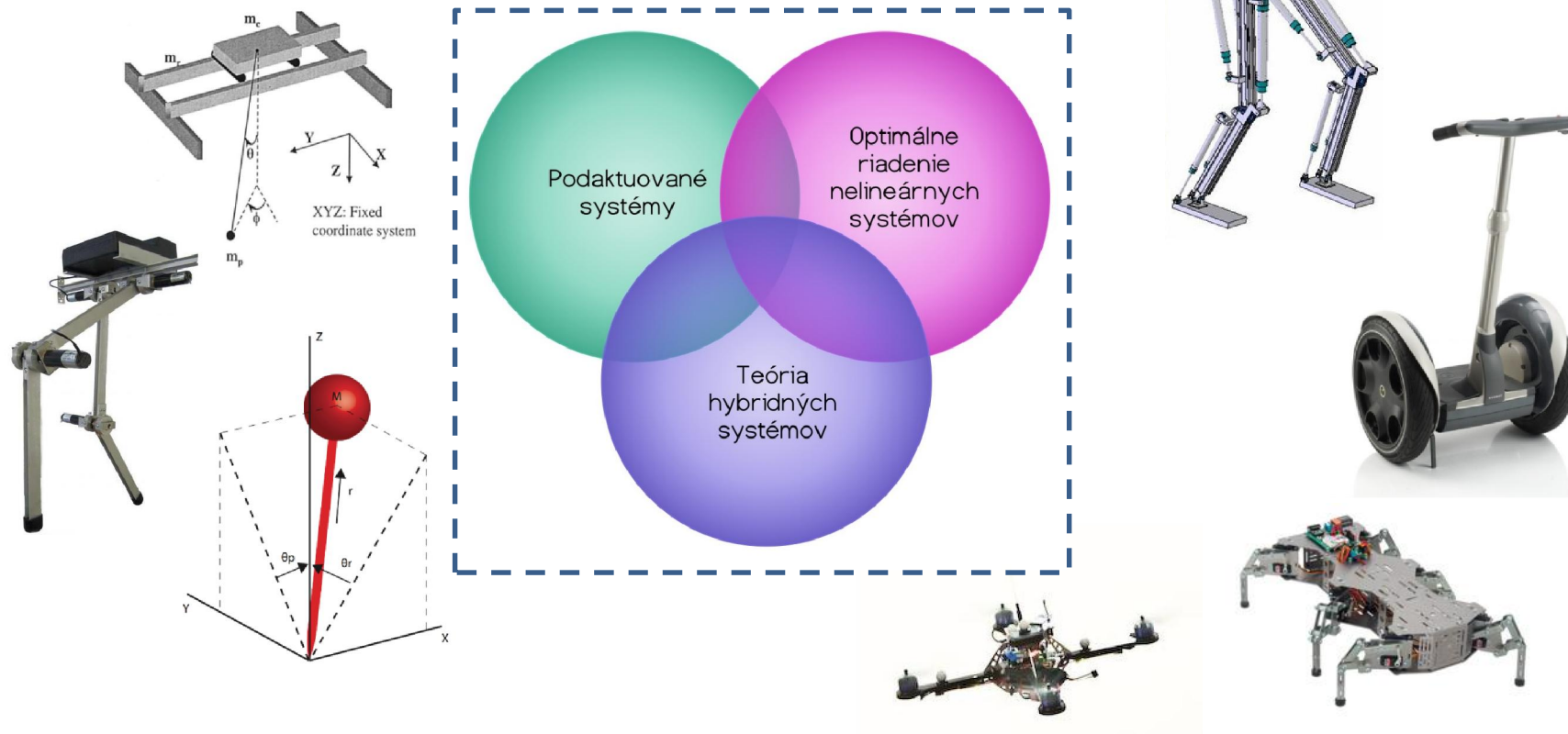
Inteligentný pozičný systém – návrh algoritmov riadenia



- Algoritmy riadenia:
 - PID/PSD
 - Prediktívne
 - Optimálne stavové
- Ciele riadenia:
 - Rovnovážny stav
 - Ustálený stav
 - Sledovanie referenčnej trajektórie

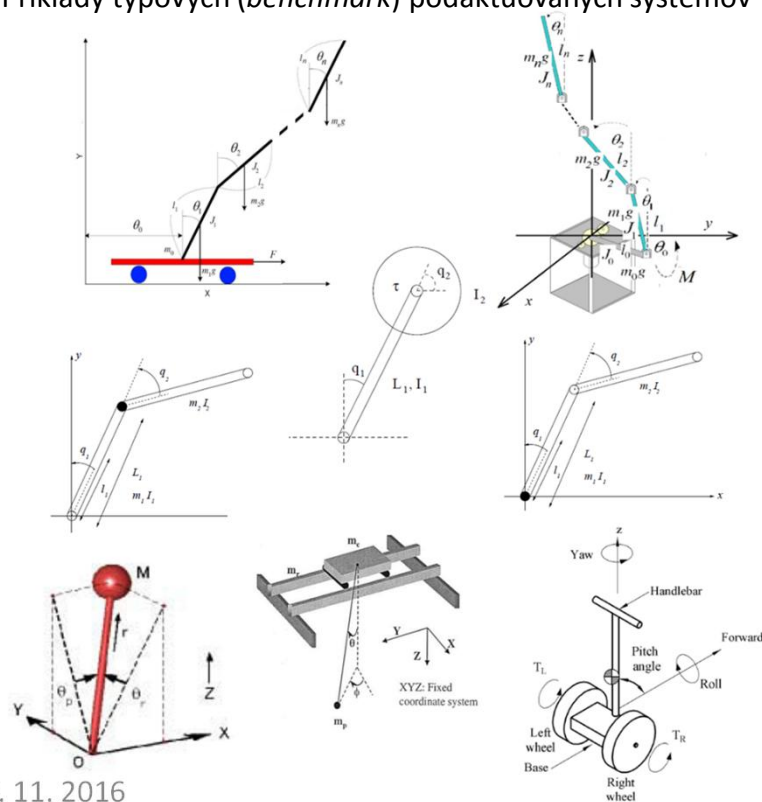


Inteligentné podaktuované mechanické systémy



Modelovanie podaktuovaných systémov s využitím princípov klasickej mechaniky

Príklady typových (benchmark) podaktuovaných systémov



28. 11. 2016

$\ddot{\theta}(t) = f(\theta(t), \dot{\theta}(t), u(t), t)$
 $\ddot{\theta}(t) = f_1(\theta(t), \dot{\theta}(t), t) + G(\theta(t), \dot{\theta}(t), t)u(t)$

VŠEOBECNÝ LAGRANGEOVSKÝ NELINEÁRNÝ SYSTÉM
ÚPRAVA DO AFINEJ FORMY

$M(\theta(t))\ddot{\theta}(t) + N(\theta(t), \dot{\theta}(t))\dot{\theta}(t) + R(\theta(t)) = V(t)u(t)$

ÚPRAVA DO ŠTANDARDNEJ MINIMÁLNEJ FORMY

$\ddot{\theta}(t) = (M(\theta(t)))^{-1} (V(t)u(t) - N(\theta(t), \dot{\theta}(t))\dot{\theta}(t) - R(\theta(t)))$

$\ddot{\theta}(t) = (M(\theta(t)))^{-1} (-N(\theta(t), \dot{\theta}(t))\dot{\theta}(t) - R(\theta(t))) + (M(\theta(t)))^{-1} V(t)u(t)$

PLNE AKTUOVANÝ SYSTÉM
 $rank(G(\theta(t), \dot{\theta}(t), t)) = rank(V(\theta(t))) = dim(\theta(t))$

PODAKTUOVANÝ SYSTÉM
 $rank(G(\theta(t), \dot{\theta}(t), t)) = rank(V(\theta(t))) < dim(\theta(t))$

VEKTOR ZOVŠEOBECNENÝCH SÚRADNÍC
 $\theta(t) = (\theta_1(t) \ \theta_2(t) \ \dots \ \theta_k(t))^T$

Kinetické, potenciálne a disipatívne energie systému viacerých telies:

$E_K(t) = \sum_{i=1}^k E_{K_i}(t)$
 $E_P(t) = \sum_{i=1}^k E_{P_i}(t)$
 $D(t) = \sum_{i=1}^k D_i(t)$

$L(t) = E_K(\theta(t), \dot{\theta}(t)) - E_P(\theta(t))$
 $D(t) = D(\dot{\theta}(t))$

LAGRANGEOVA FUNKCIA
DISIPATÍVNA FUNKCIA

$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L(t)}{\partial \dot{\theta}(t)} \right) - \frac{\partial L(t)}{\partial \theta(t)} + \frac{\partial D(t)}{\partial \theta(t)} = Q^*(t)$

EULER-LAGRANGEOVE ROVNICE II. DRUHU

- automatizácia postupu odvodenia pohybových rovníc mechanického systému použitím symbolického softwaru: **MATLAB, Maple, Mathematica**

24

Automatické odvodenie pohybových rovníc typových podaktuovaných systémov

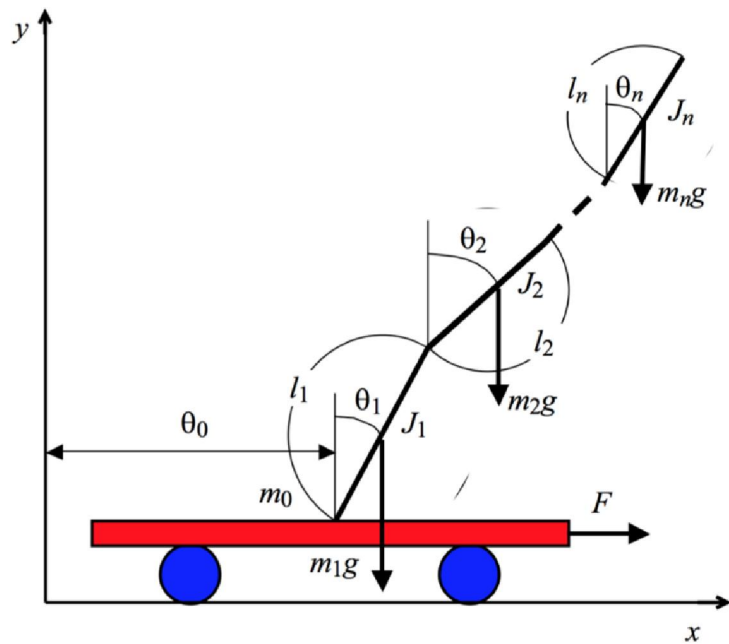
2011-2013

2012-2014

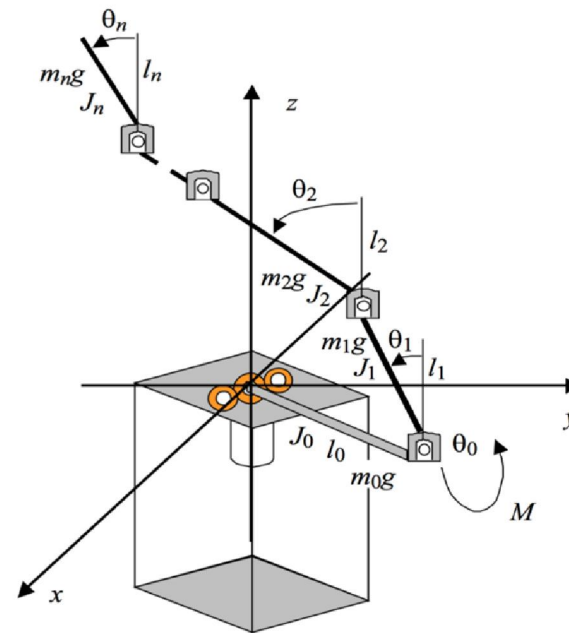
2014-2015

2014-2015

Matematické modelovanie systémov inverzných kyvadiel



ZOVŠEOBECNENÝ SYSTÉM N KLASICKÝCH INVERZNÝCH KYVADIEL



ZOVŠEOBECNENÝ SYSTÉM N ROTAČNÝCH INVERZNÝCH KYVADIEL

Inverted Pendula Model Equation Derivator

výber **typu**
systemu
a počtu
kyvadiel

typ
pripojeného
závažia

referenčná
poloha
kyvadiel a
referenčný
smer ich
otáčania

odvodené pohybové rovnice

Inverted Pendula Model Equation Derivator_v3

Input parameters

Number of pendula: two

inverted

Weight type:

Sphere

Cylinder

Ring

None

Origin of the coordinate system: top

Direction of motion: clockwise

Derive equations

spustenie procesu odvodenia

$$C = \frac{m_2 \frac{l_2}{2} + M(l_2 + R)}{M + m_2}; J_{T1} = \frac{m_2 l_1^2}{12}; J_1 = J_{T1} + \frac{m_2 l_1^2}{4}; J_{Tg} = \frac{2}{5}MR^2; h_1 = C - \frac{l_2}{2}; h_2 = l_2 + R - C$$

$$J_{T2} = \frac{m_2 l_2^2}{12}; J_{21} = J_{T2} + m_2 h_1^2; J_{22} = J_{Tg} + M h_2^2; J_{T2} = J_{21} + J_{22}; J_2 = J_{T2} + (M + m_2)C^2$$

Equations

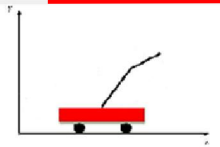
Cart equation

$$(M + m_0 + m_1 + m_2)\ddot{\theta}_0(t) + (C \cos(\theta_2(t))(M + m_2))\ddot{\theta}_2(t) + \left(\frac{l_1 m_1 \cos(\theta_1(t))}{2} + l_1 \cos(\theta_1(t))(M + m_2)\right)\ddot{\theta}_1(t) + \delta_0 \dot{\theta}_0(t) - \frac{l_1 m_1 \sin(\theta_1(t))\dot{\theta}_1^2(t)}{2} - (C \sin(\theta_2(t))\theta_2^2(t) + l_1 \sin(\theta_1(t))\theta_1^2(t))(M + m_2) = F$$

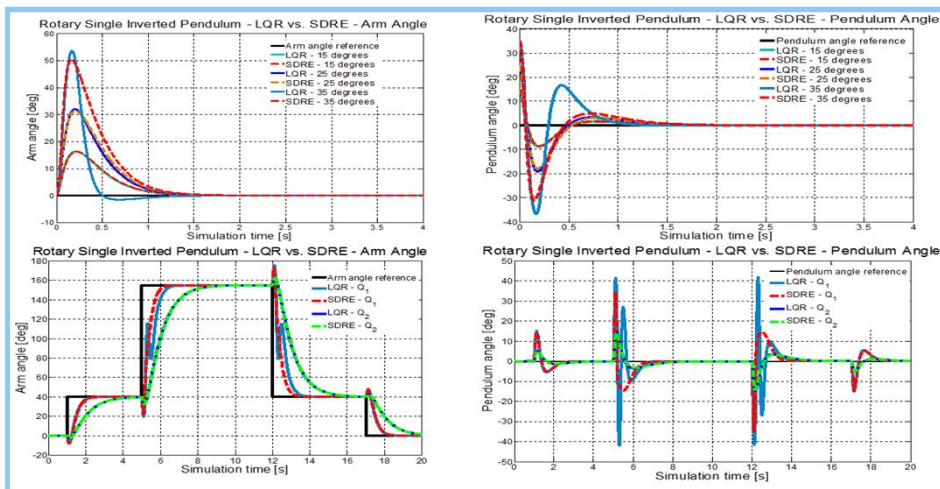
Lower pendulum equation

$$\left((M + m_2)l_1 \cos(\theta_1(t)) + \frac{l_1 m_1 \cos(\theta_1(t))}{2}\right)\ddot{\theta}_0(t) - \frac{g l_1 m_1 \sin(\theta_1(t))}{2} + (C(M + m_2)l_1 \cos(\theta_1(t) - \theta_2(t)))\ddot{\theta}_2(t) + (\delta_1 + \delta_2)\dot{\theta}_1(t) - \delta_2 \dot{\theta}_2(t) - (M + m_2)g l_1 \sin(\theta_1(t)) + (J_1 + (M + m_2)l_1^2)\ddot{\theta}_1(t) + C(M + m_2)l_1 \sin(\theta_1(t) - \theta_2(t))\theta_2^2(t) = 0$$

Upper pendulum equation

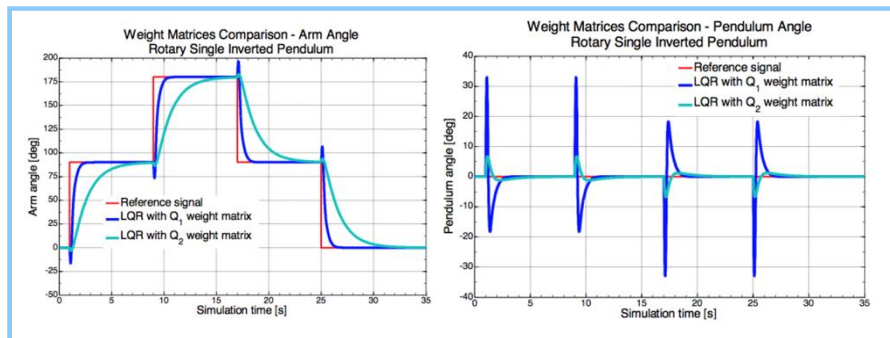
$$(C(M + m_2) \cos(\theta_2(t)))\ddot{\theta}_0(t) + J_2 \ddot{\theta}_2(t) + \delta_2 (\theta_2(t) - \theta_1(t)) + (C(M + m_2)l_1 \cos(\theta_1(t) - \theta_2(t)))\ddot{\theta}_1(t) - C(M + m_2)g \sin(\theta_2(t)) - C(M + m_2)l_1 \sin(\theta_1(t) - \theta_2(t))\dot{\theta}_1^2(t) = 0$$


Optimálne riadenie podaktuovaných systémov



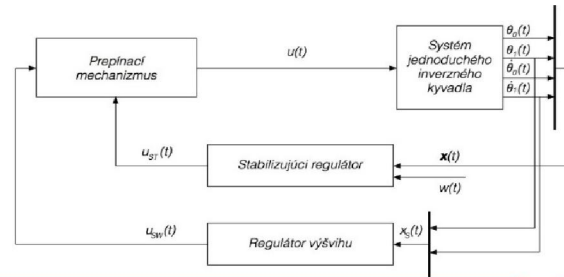
- stabilizácia systému *rotačného inverzného kyvadla* v hornom nestabilnom rovnovážnom stave
- porovnanie výsledkov dvoch algoritmov riadenia (metódy stavového riadenia na báze *LQ algoritmu založenom na diskretnom linearizovanom modeli systému* a metódy stavového riadenia na báze *stavovo závislej Riccatiho rovnice (SDRE)*)
- cieľ riadenia je daný ako
 - a) eliminácia počiatočného vychýlenia kyvadla
 - b) privedenie rotačného ramena do preddefinovanej polohy za súčasného udržiavania kyvadla v hornej polohe

- stabilizácia systému *rotačného inverzného kyvadla* v hornom nestabilnom rovnovážnom stave s využitím metódy stavového riadenia na báze *LQ algoritmu*
- cieľ riadenia je daný ako privedenie rotačného ramena do preddefinovanej polohy za súčasného udržiavania kyvadla v hornej polohe
- rôzne volené váhové matice Q umožňujú vybalansovať požiadavky na
 - a) dostatočne rýchlu dobu nábehu ramena a
 - b) dostatočne nízke prekmity kyvadiel

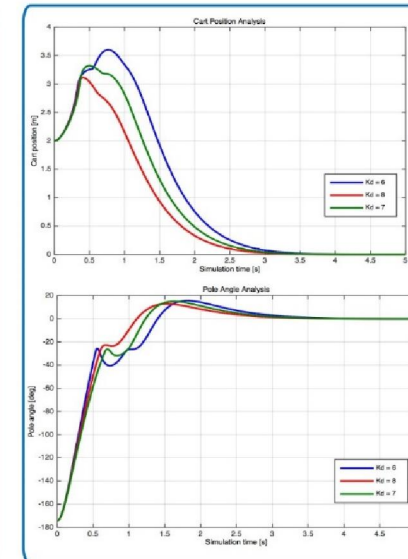
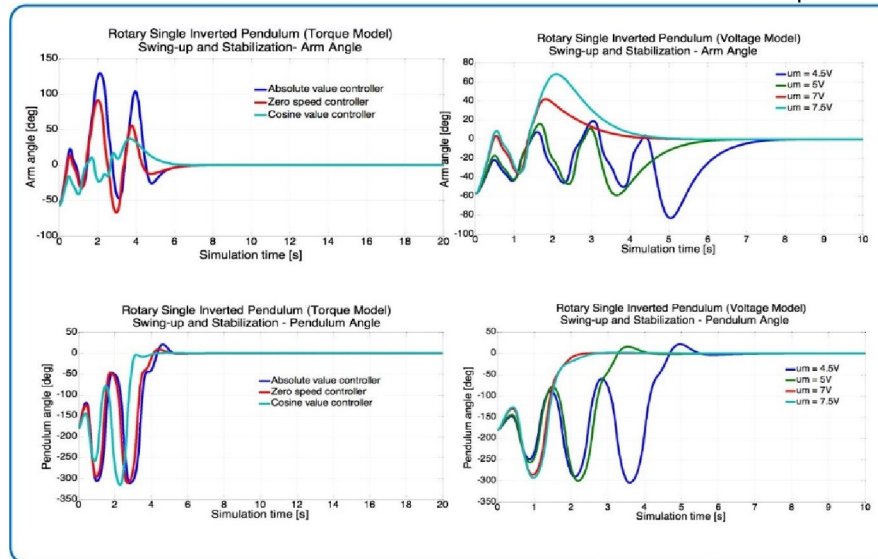


Návrh riadiacej štruktúry na báze hybridného riadenia pre riešenie úlohy výšvihu a stabilizácie kyvadla

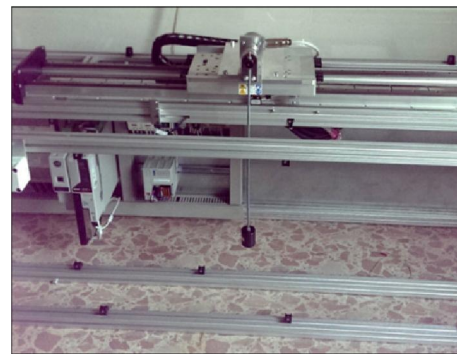
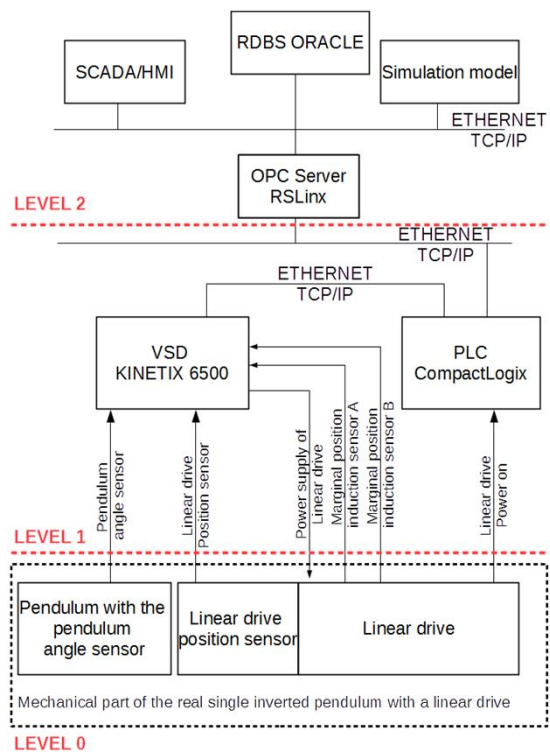
výšvih: metóda tvarovania energie (energy-based control)
stabilizácia: LQR na báze diskrétného modelu



výšvih: metóda čiastočnej spätnoväzobnej linearizácie (partial feedback linearization)
stabilizácia: LQR na báze diskrétného modelu



Identifikácia a riadenie laboratórnych modelov podaktuovaných mechanických systémov



Identifikácia a riadenie laboratórných modelov podaktuovaných mechanických systémov

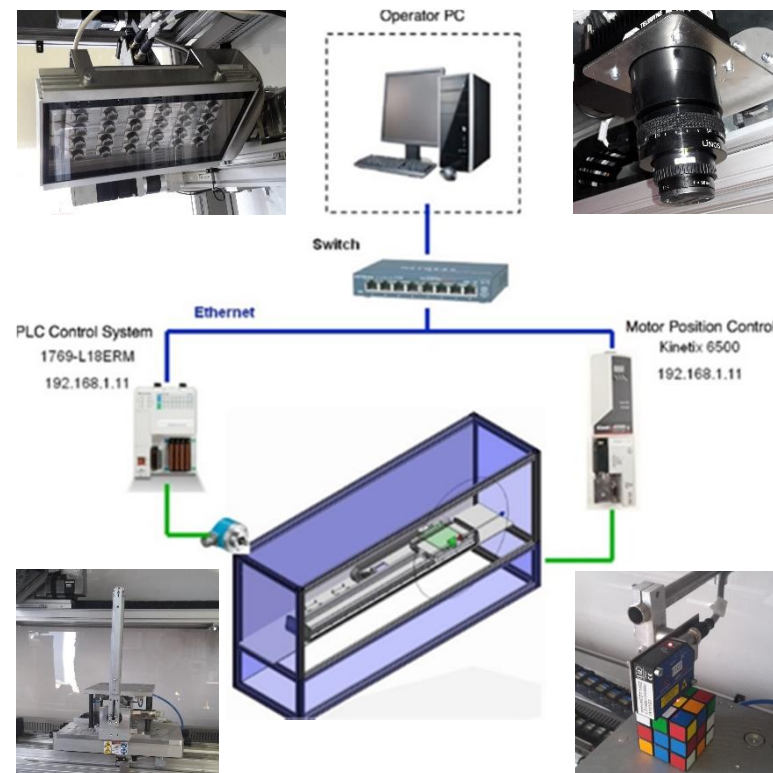
Possible applications

- Analytical identification of underactuated systems
- Experimental identification of underactuated systems
- Hybrid control of underactuated systems

Technical equipment:

- Servomotor KINETIX 6500 with frequency converter
- CompactLogix PLC
- IRC sensor for motor position
- KINAX-2W2 programmable angle converter
- RSLogix 5000
- DDE protocol
- MATLAB/Simulink

28. 11. 2016



Identifikácia a riadenie laboratórnych modelov podaktuovaných mechanických systémov

odvodené pohybové rovnice
jednoduchého inverzného kyvadla so závažím:

Inverted Pendula Model Equation Derivator_v3

Input parameters

Number of pendula: one

Weight type: Sphere, Cylinder, Ring, None

Origin of the coordinate system: top

Direction of motion: clockwise

Derive equations

$$C = \frac{m_1 l_1 + M(l_1 + R)}{M + m_1}, \quad J_1 = \frac{m_1 l_1^2}{12}, \quad J_{Tg} = \frac{2}{8} M R^2, \quad h_1 = C - \frac{l_1}{2}, \quad h_2 = l_1 + R - C$$

$$J_{11} = J_1 + m_1 h_1^2, \quad J_{12} = J_{Tg} + M h_2^2, \quad J_{T1} = J_{11} + J_{12}$$

Equations

Cart equation

$$(M + m_0 + m_1) \ddot{\theta}_0(t) + C \cos(\theta_1(t)) (M + m_1) \ddot{\theta}_1(t) + \delta_0 \dot{\theta}_0(t) - C \sin(\theta_1(t)) \dot{\theta}_1^2(t) (M + m_1) = F$$

Pendulum equation

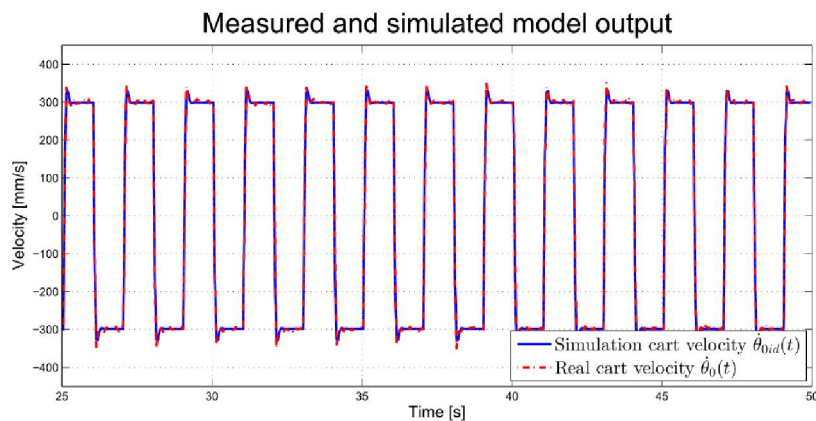
$$C (m_1 + M) \cos(\theta_1(t)) \ddot{\theta}_0(t) + (J_{T1} + C^2 (m_1 + M)) \ddot{\theta}_1(t) + \delta_1 \dot{\theta}_1(t) - C (m_1 + M) g \sin(\theta_1(t)) = 0$$

Nakoľko laboratórny model neumožňuje aplikovať na vstupe silu, ale iba týchlosť vozíka, pohybová rovnica vozíka bola nahradená diferenciálnou rovnicou:

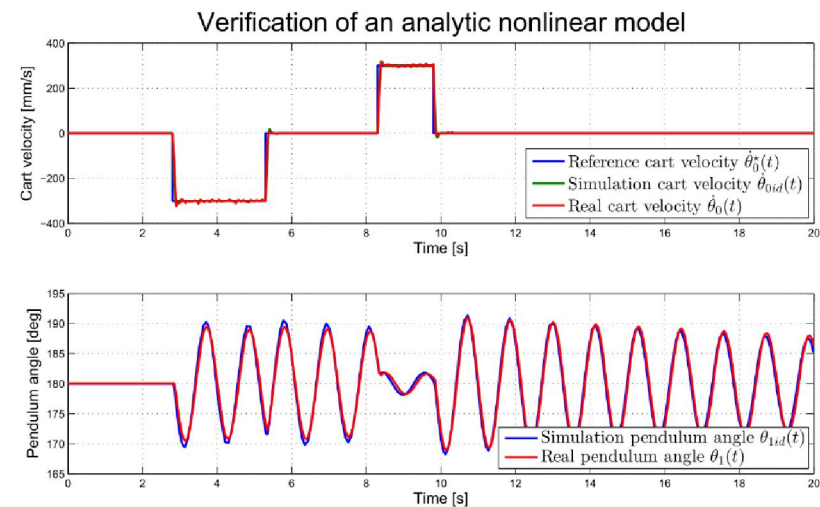
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \theta_0(t) \\ \dot{\theta}_0(t) \\ \ddot{\theta}_0(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -q_0 & -q_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_0(t) \\ \dot{\theta}_0(t) \\ \ddot{\theta}_0(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ p_0 \end{bmatrix} \dot{\theta}_0^*(t)$$

Identifikácia a riadenie laboratórnych modelov podaktuovaných mechanických systémov

Neznáme parametre pohybovej rovnice vozíka boli určené pomocou experimentálnej identifikácie (metóda ARX) a neznámy parameter pohybovej rovnice kyvadla (tlmenie) bol určený z kmitavého správania sa časového priebehu kyvadla.



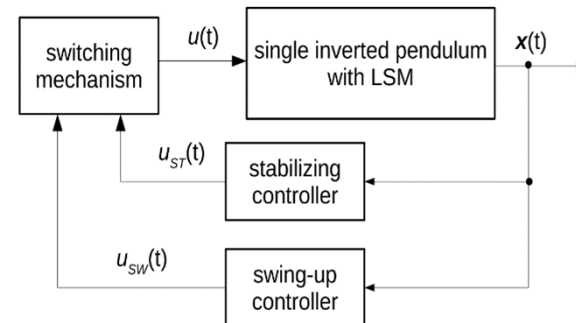
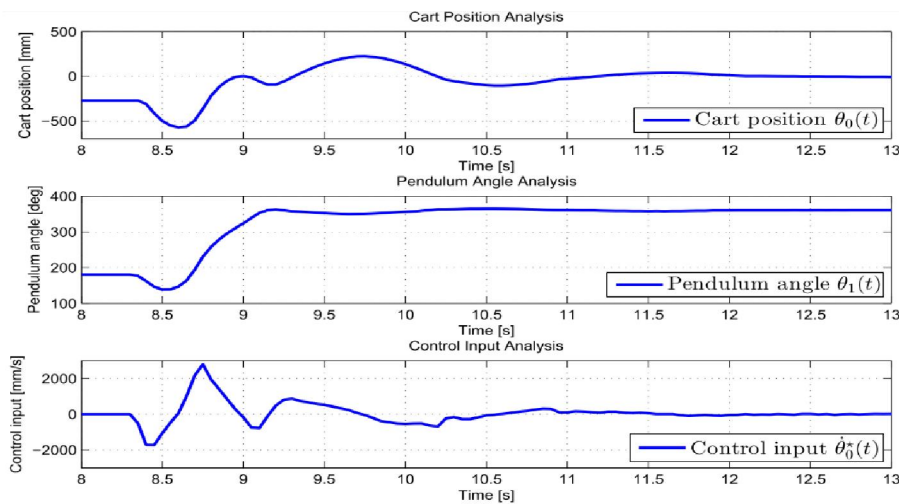
28. 11. 2016



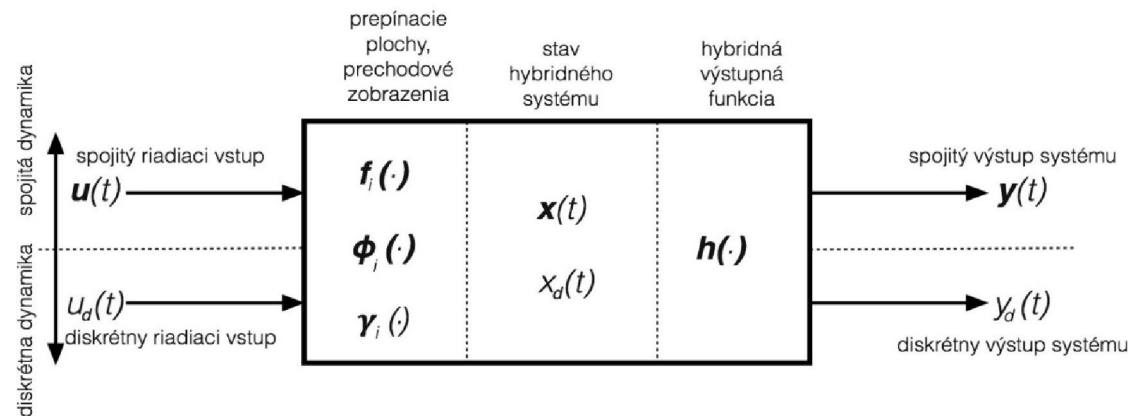
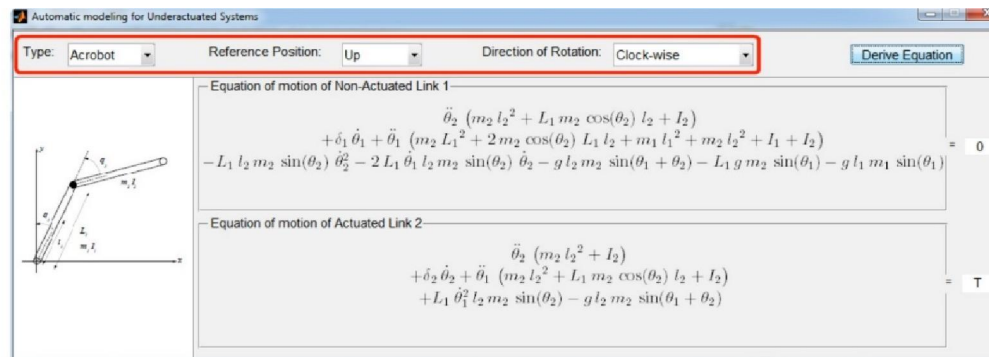
33

Identifikácia a riadenie laboratórnych modelov podaktuovaných mechanických systémov

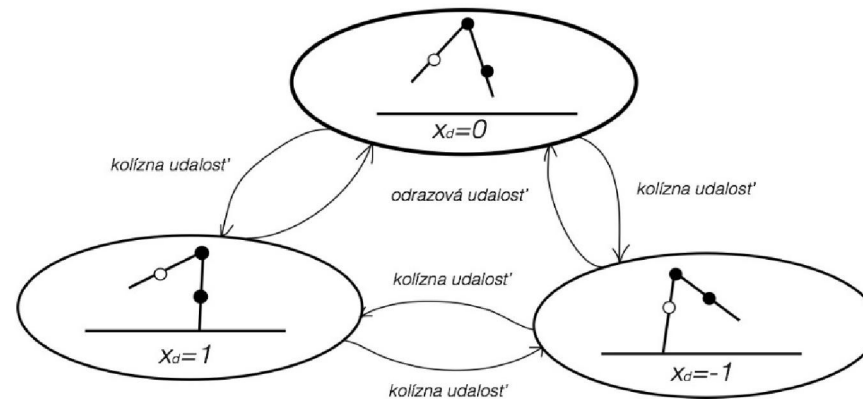
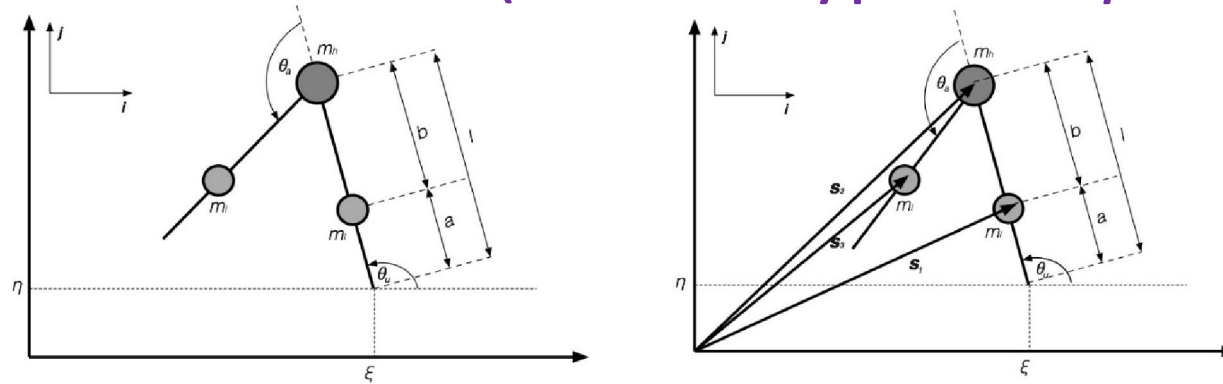
Hybridné riadenie reálneho inverzného kyvadla so závažím pozostáva z algoritmu výšvihu a stabilizácie



Modelovanie podaktuovaných mechanických systémov – hybridný prístup



Hybridný model jednoduchého planárneho kráčajúceho robota (chôdza typu *compass gait*)



Hydraulický systém

Hlavné riešené úlohy:

Analytické modelovanie

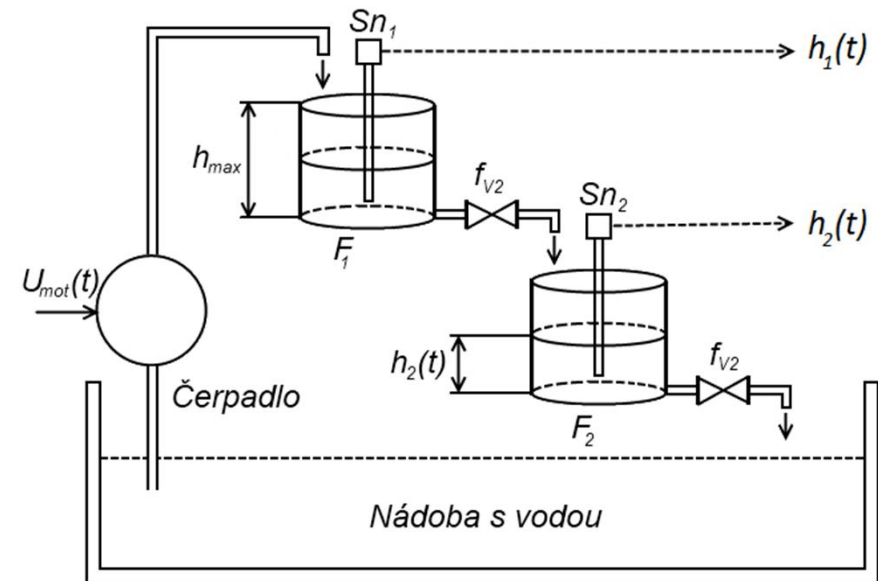
Experimentálna identifikácia

Návrh a overovanie algoritmov



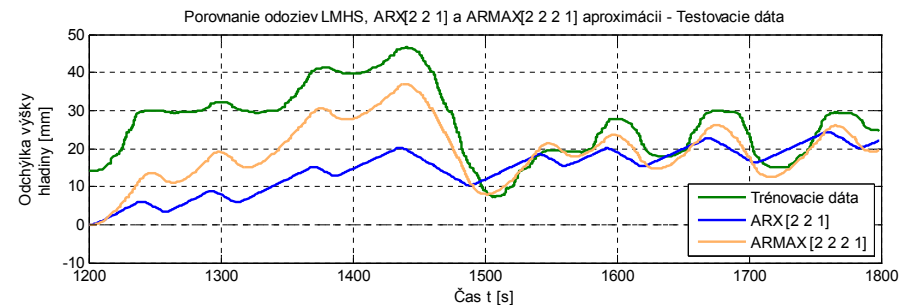
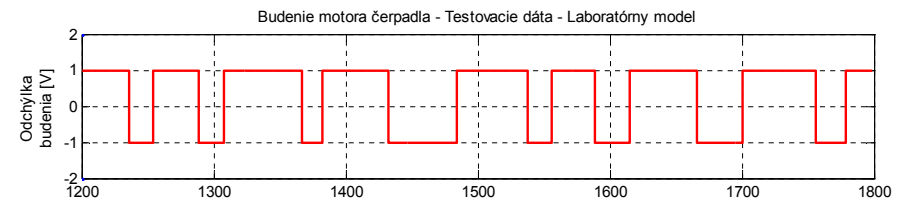
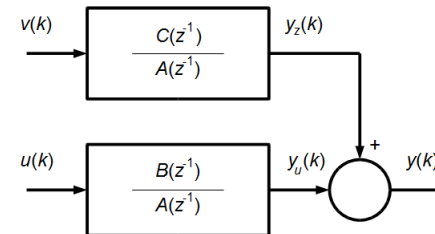
Hydraulický systém – analytické modelovanie

- Zostavenie matematického modelu na základe matematicko-fyzikálnych vzťahov
- Validácia voči reálnemu modelu hydraulického systému



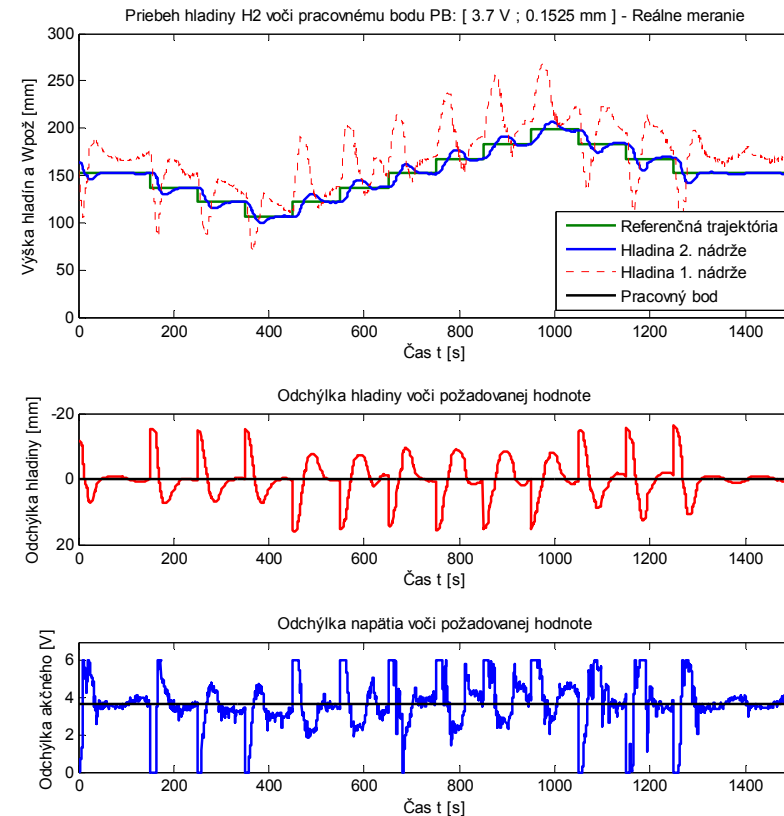
Hydraulický systém – experimentálna identifikácia

- Určenie modelu hydraulického systému na základe reálne odmeraných dát
- Porovnávanie voči reálnemu modelu a analytickému riešeniu



Hydraulický systém – overenie algoritmov riadenia

- Implementácia a testovanie navrhnutých algoritmov riadenia v PC
 - V Matlabe
 - V PLC automate Allen Bradley
- Overenie na reálnom modeli hydraulického systému



Pracovisko systémov s diskrétnymi udalosťami

Hlavné riešené úlohy:

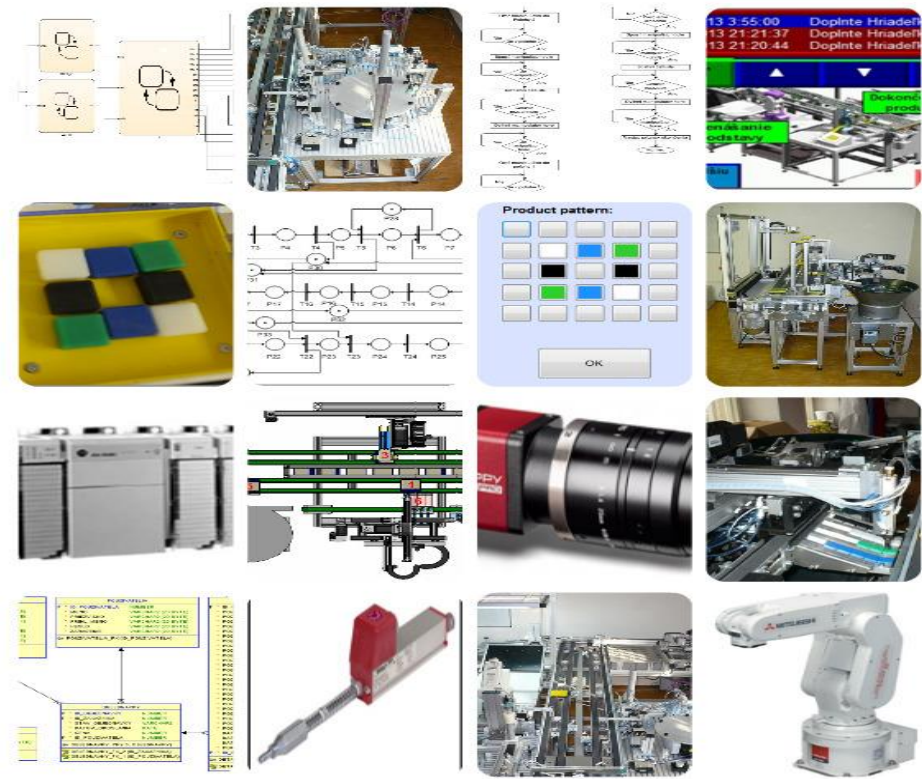
Riadenie výrobného procesu

Tvorba simulačných modelov

Diagnostika procesov

Tvorba informačných a manažérskych systémov

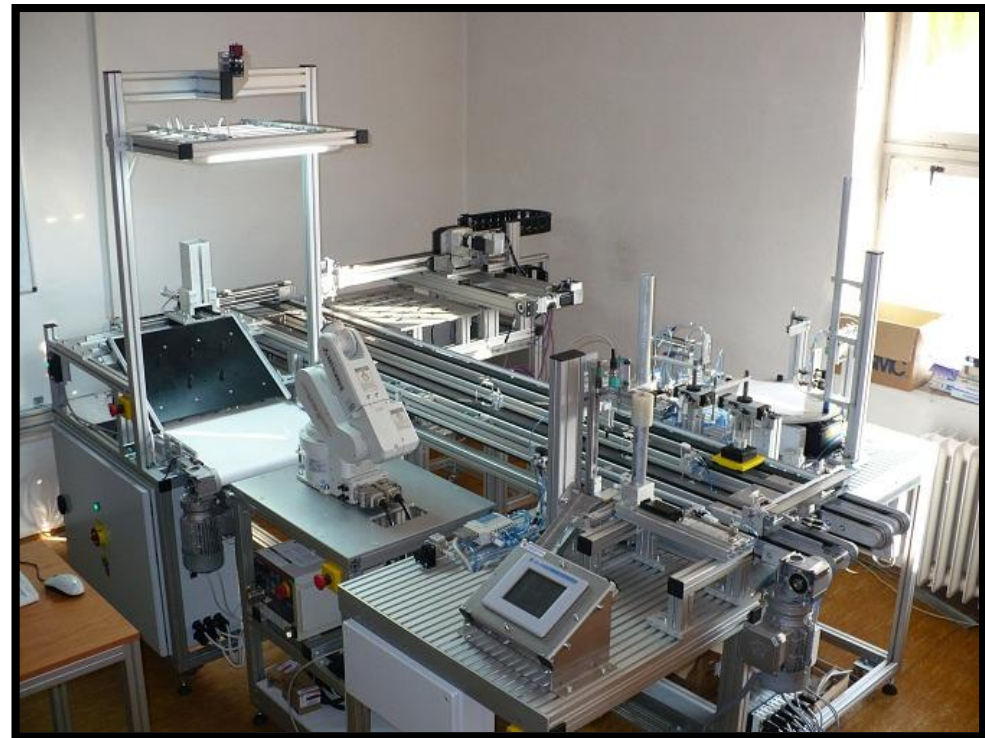
Úlohy rozpoznávania obrazu



Pracovisko systémov s diskretnými udalosťami

Flexibilný montážny podnik

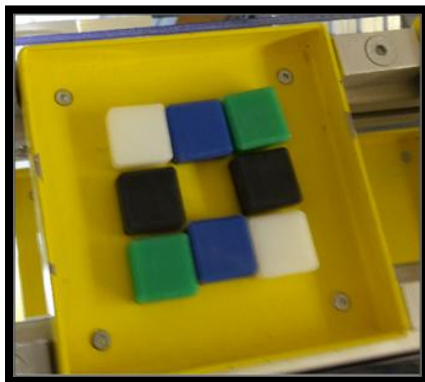
- FMP sa skladá z 5 postov
- Úloha: podľa objednávky vyskladať výrobok zo 4 rôznych dielov (podstavec, ložisko, hriadeľ, klobúčik)



Pracovisko systémov s diskretnými udalosťami

Pružný výrobný systém

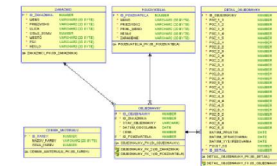
- PVS sa skladá zo 6 postov
- Úloha: podľa objednávky vyskladať farebný obrazec z 25 farebných kociek



Pracovisko systémov s diskretnými udalosťami

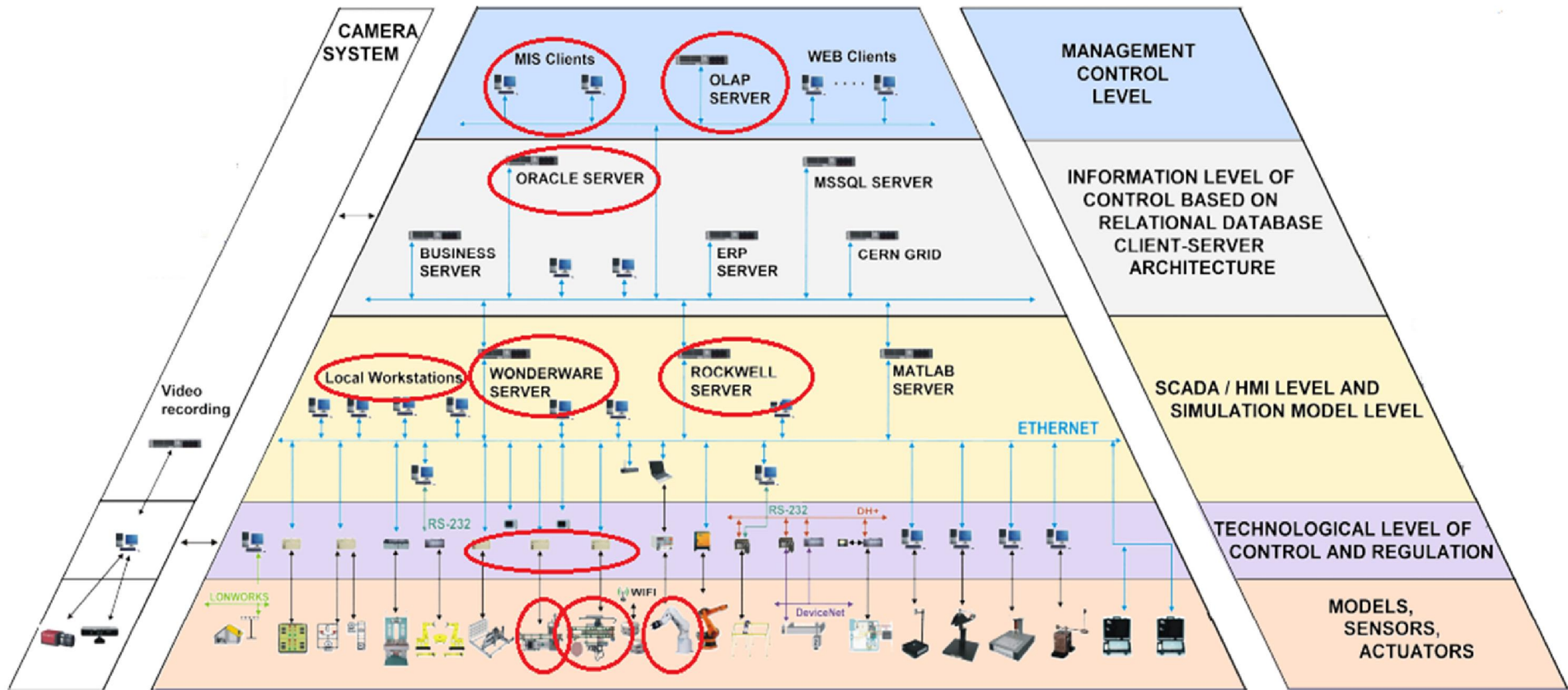
Využívané komponenty

- **Snímače, akčné členy:** indukčné, optické, odporové snímače, pneumatikové piesty, krokové motory, kamerové systémy
- **Komunikačné rozhrania:** AS-i, Profibus, Ethernet, DeviceNet
- **Riadiaci systém:** CompactLogix
- **Riadiace nástroje:** RS Logix 5000, touchpanel PanelView Plus
- **Vizualizačné nástroje:** FT View, InTouch
- **Informačný systém :** prepojený s relačnou databázou Oracle (SQL Developer, SQL Data Modeler)
- **Business Intelligence & OLAP nástroje:** Analytic Workspace Manager, Oracle Discoverer, Oracle BI Plugin for Excel



Pracovisko systémov s diskrétnymi udalosťami

Využívané komponenty



<http://web.tuke.sk/kkui/podknam/>

